

国内輸送システムの環境負荷に関する考察

正会員 長谷川和彦

学生会員 濱本秀樹

学生会員 Kho Shahriar Iqbal

(大阪大学大学院工学研究科)

(大阪大学工学部)

(大阪大学大学院工学研究科)

1. はじめに

現在、国内の貨物輸送において貨物自動車の占める割合はトンキロベースで約45%、トンベースでは約75%に達する¹⁾。またトラックの輸送量は年々増加傾向にあり、特に小売店への商品出荷や宅配便においては、その迅速性と手軽さからトラックが利用される場合がほとんどである。しかし、トラックによる輸送効率は悪く、さらに大気汚染や地球温暖化、交通渋滞などの環境悪化の一因となるため、そのあり方が問われている。

一方、船舶はトラックに代わる大量輸送機関として考えられるが、迅速性・定時性に劣るという欠点があり、これがモーダルシフトの推進を妨げる要因のひとつになっている。ただ、近年の環境意識の高まりにより、利用者が環境保全の代償としてある程度の所要時間の増加を容認すればトラック輸送を海上輸送に切り替えることは十分可能であり、コスト低減によって経済的にも利点があると思われる。

そこで、現在トラック輸送が行われている区間について、運送事業者が環境保全および経済性という観点からモーダルシフトを検討するときに、Fig. 1のように経路の情報とトラックおよび船舶の使用条件を入力することで所要時間と環境への影響の度合いが求められ、両者の兼ね合いでその区間でのモーダルシフトの妥当性を判断できるような手法について考察した。

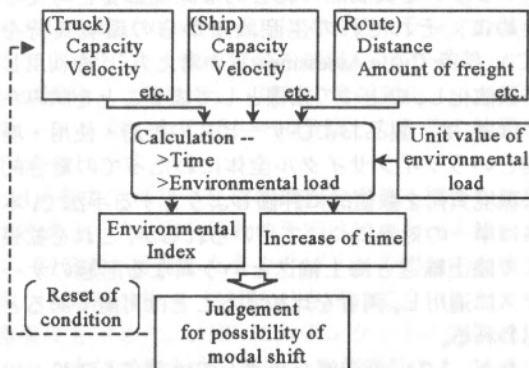


Fig. 1 Flow diagram

2. モデルケースによる比較

2.1 モデルの設定

トラック輸送と海上輸送における経費・所要時間の差を調べるため、

- (1) ストックポイント（集配拠点）間をトラックのみで輸送する（高速道路利用）
- (2) フェリーを利用して港からトラックごと無人航送する
- (3) ストックポイントと港をトラックで結び、港でRO/RO貨物船に積み替える

の3通りの手段について、国内のフェリー航路をモデルに1TEU（20フィートコンテナ換算）あたりの値を比較した。

それぞれについてTable 1に示す条件を設定し、貨物船は現在運航しているもの²⁾を参考に中型・小型のRO/RO船2種類を想定した。

Table 1 Conditions of transport

	Truck	Ferry	Cargo ship	
			Medium	Small
Eng. power [PS]	350	15,000	12,000	9,000
Capacity [TEU]	0.5	120	500	250
Velocity	50 [km/h]	23 [knot]	23 [knot]	25 [knot]
Fuel type	Light Oil	Heavy Oil		
Fuel unit consumption	4.0 [km/l]	150 [g/PSh]		
Fuel unit cost	70 [yen/l]	15 [yen/l]		
Harbor charge ³⁾ [1000yen]	-	-	130	120
Load/Unload hours [hour]	-	1.5	4.0	2.0
Labor cost ⁴⁾	2,200 [yen/(hour・person)]			

また輸送経費に関して、トラックおよび貨物船の車体/船体の減価償却や維持費は耐用年数の長さとその間の輸送量を考えると、1TEUあたりでは微小であり大勢に影響はないと思われるため考慮しなかった。

2.2 計算結果

まず、想定した各区間における経費を計算し、トラックの値を100として比較するとFig. 2のようになった。これを見ると、フェリーは航送料の高さが影響してトラックと大差ない値となっている。これ

に対し、ほとんどの区間において値がトラックの10%以下となっている貨物船が経費の面では圧倒的に有利である。

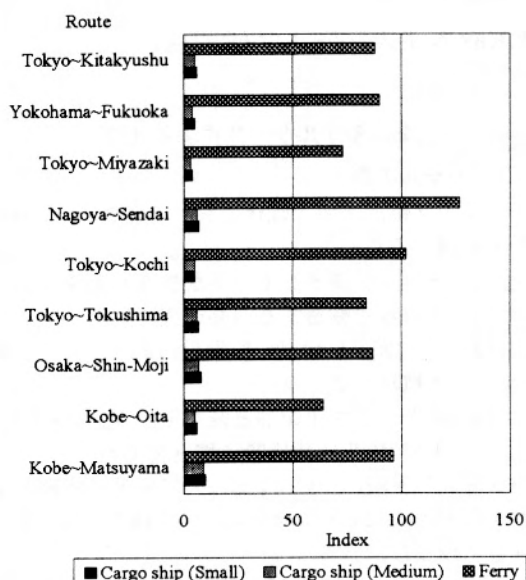


Fig. 2 Comparison of cost (Truck=100)

次に、所要時間については、Table 2 のような結果が得られた。これにより、トラックより貨物船の輸送距離が短い場合は時間の短縮も可能であるが、ほとんどのケースで速度差の影響により貨物船の所要時間が大幅に増加していることが分かる。

このことに関し、輸送距離が500km（トラックでドア・ツー・ドアが18時間程度）と1,000km（24時間程度）で宅配便を利用した場合の所要時間の許容増加量について、アンケートを行った。その集計結果はFig. 3 のようになった。Fig. 3 において中・長距離いずれの場合もトラックの所要時間の概ね3割増までなら60%以上の支持が得られることが分かり、これとTable 2の結果より、船速25ノット程度の貨物船を用いれば、海上輸送がトラック輸送より時間がかかるという問題にある程度対処できることがうかがえる。

以上をまとめると、フェリーは経費に関してはトラック輸送とあまり変わらずトラックの代替手段として適当ではなく、本研究で想定したケースのうちでは中型貨物船を船速25ノット程度で運行するのが最善である。しかし、想定したモデルでは満載状態で輸送することが前提となっていて、荷物の集積状況によっては小型貨物船を用いた方がよいと思われる。

Table 2 Time required

Route	Distance [km] (Truck/Ship)	Truck [hour]	Ferry [hour]	Cargo ship	
				Medium [hour]	Small [hour]
Tokyo ~ Kitakyushu	1,040 / 1,160	21	30 (42.9)	32 (55.0)	28 (34.9)
Yokohama ~ Fukuoka	1,200 / 1,000	24	26 (6.3)	28 (18.7)	25 (2.5)
Tokyo ~ Miyazaki	1,400 / 950	28	25 (-11.4)	27 (-2.5)	24 (-16.0)
Nagoya ~ Sendai	700 / 780	14	21 (48.7)	23 (66.5)	20 (41.8)
Tokyo ~ Kochi	840 / 730	17	20 (16.9)	22 (31.8)	19 (11.7)
Tokyo ~ Tokushima	650 / 640	13	18 (34.8)	20 (54.0)	17 (29.4)
Osaka ~ Shin-Moji	550 / 460	11	13 (20.9)	16 (43.6)	13 (17.6)
Kobe ~ Oita	710 / 420	14	12 (-13.0)	15 (4.6)	12 (-15.0)
Kobe ~ Matsuyama	320 / 230	6	8 (23.4)	10 (62.5)	8 (24.5)

(): Rate of increase

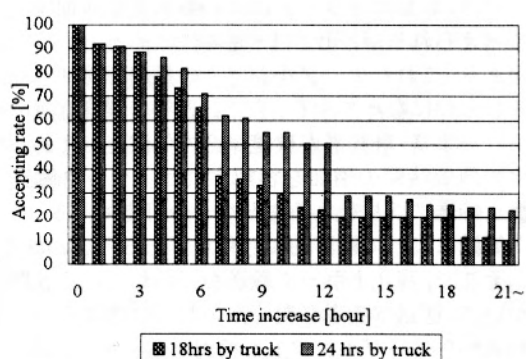


Fig. 3 Allowance for increase of time taken

3. LCA を利用した環境影響の評価

3.1 LCAについて

トラックと貨物船の総合的な環境影響を考えるために、それぞれの生産段階からの環境負荷をLCA (Life Cycle Assessment) の考え方^{5),6)}を利用して数値化し、ひとつの指標として表すことを試みた。

LCA は、製品およびサービスの製造・使用・廃棄というライフサイクル全体にわたっての総合的な環境負荷を数値的に評価しようとする手法で、本来は単一の対象について用いられるが、これを拡張して陸上輸送と海上輸送という異なる形態のサービスに適用し、両者を比較することは可能であると思われる。

ただ、LCA の細部をめぐっては現在も議論が紛糾しており、また本研究と一般的なLCAとは趣旨が若干異なることもあり、そのまま適用することは

無意味である。そこで、具体的には既に提案されているものを参考に計算を行った。

3.2 条件の設定

計算の条件として、Table 1 と同様のトラックおよび貨物船を用いて 1 日に 1,500 トン（中型貨物船を積載率 30% で運航した場合の輸送量に相当）の荷物を輸送し、距離が 500km, 1,000km の区間それぞれについて 10 年間、20 年間運用した場合の、計 4 通りを想定した。ただし、貨物船は前章の結果を踏まえ、船速 25 ノットで運航するものとした。トラックは平均積載率 60%（500 台）、貨物船は 30%（中型 1 隻・小型 2 隻）とし、耐用年数はトラックが 10 年、貨物船が 20 年とした。また、船舶は中古船として海外などに売却されることが多く廃棄の経緯が明らかでないので、トラック、貨物船のいずれも廃棄時の環境負荷を除いて計算した。

3.3 環境指数の計算

計算の手順は、以下 (1) ~ (4) の手順で行った。その過程の概要を Fig. 4 に示す。

(1) 環境影響因子として「エネルギー消費」「熱放出」「CO₂」「NO_x」「SO_x」「リン」「粒子状物質」の 7 個を設定し、トラックと貨物船の製造時および運用時^{1), 8)-12)}における各因子の排出/消費原単位を求めた (Table 3)。ただし、生産段階でのすべての環境因子の量を部材ごとに積み上げて計算するのは非常に困難であるため、製造時についてはインターネット上で公開されている産業分野ごとの平均的な値⁷⁾を利用した。

(2) (1) で求めた環境負荷原単位から、前項 3.2 で設定した各ケースにおいてライフサイクルでの総排出/消費量を算出した。

(3) 各ケースごとに、7 個の環境因子の量をそれぞれ貨物船 (100 とする) に対するトラックの値の比で定量化し、「化石資源の枯渇」「都市排熱」「地球温暖化」「酸性雨」「湖沼の富栄養化」「大気汚染」の 6 個のカテゴリーに分類した。その結果を Table 4 に示す。

(4) 各カテゴリーを重み係数を通じて統合し、環境指数とした。重み係数の決定はアンケート法により、回答者が評価した各カテゴリーの相対的な重要度から階層分析法 (AHP)¹³⁾を用いて全体に対する重要度を求めた。AHP にはアンケートの回答者にとって全体の整合性を気にする必要がなく、正直な感覚が働くという利点がある。求められた各カテゴリーの重み係数を Table 5 に、各ケースでの環境指数を Table 6 に示す。

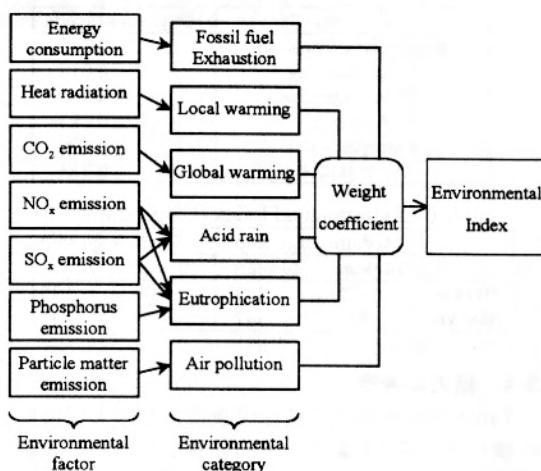


Fig. 4 Calculation process of Environmental Index

Table 3 Unit load of environmental factors

(a) Phase of production (per 1 truck/ship)

	Truck	Cargo ship	
		Medium	Small
Energy [MJ]	3.62×10^5	1.39×10^8	9.27×10^7
Heat [MJ]	-	-	-
CO ₂ [ton]	29.4	1.07×10^4	7.13×10^3
NO _x [kg]	43.6	4.85×10^4	3.23×10^4
SO _x [kg]	152	1.32×10^4	8.87×10^3
Phosphorus [kg]	34.0	9.65×10^3	6.45×10^3
Particle matter [kg]	-	-	-

(b) Phase of use

	Truck	Cargo ship	
		Medium	Small
Energy	3.93 [MJ/(ton·km)]	0.62 [MJ/(ton·km)]	0.62 [MJ/(ton·km)]
Heat	42.7 [MJ/l]	40.7 [MJ/l]	40.7 [MJ/l]
CO ₂	188 [g/(ton·km)]	58.4 [g/(ton·km)]	58.4 [g/(ton·km)]
NO _x	1.49 [g/(ton·km)]	0.810 [g/(ton·km)]	0.810 [g/(ton·km)]
SO _x	4.20 [kg/ton-fuel]	48.3 [kg/ton-fuel]	48.3 [kg/ton-fuel]
Phosphorus	-	-	-
Particle matter	0.205 [g/(ton·km)]	0.2 [g/(ton·km)]	0.2 [g/(ton·km)]

Table 4 Environmental load in each category

(a) 10 years

Category	500 km		1000 km	
	Medium	Small	Medium	Small
Fossil fuel exhaustion	592	574	614	604
Local warming	448	299	448	299
Global warming	308	300	315	311
Acid rain	110	103	110	103
Eutrophication	132	112	132	113
Air pollution	807	538	807	538

(b) 20 years

Category	500 km		1000 km	
	Medium	Small	Medium	Small
Fossil fuel exhaustion	620	610	629	624
Local warming	448	299	448	299
Global warming	320	316	321	319
Acid rain	111	104	111	104
Eutrophication	192	157	192	157
Air pollution	807	538	807	538

に対し、ほとんどの区間において値がトラックの10%以下となっている貨物船が経費の面では圧倒的に有利である。

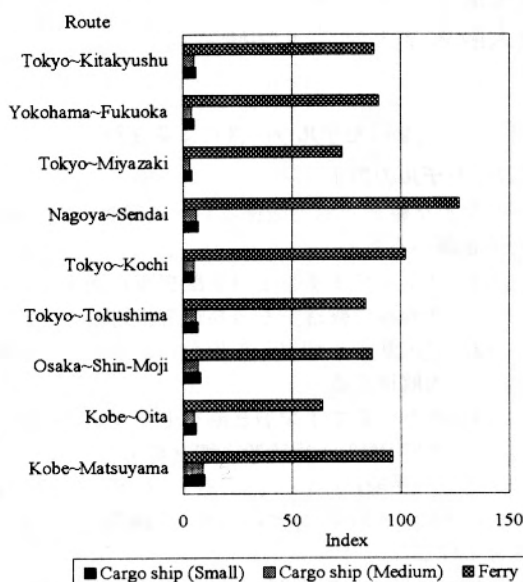


Fig. 2 Comparison of cost (Truck=100)

次に、所要時間については、Table 2 のような結果が得られた。これにより、トラックより貨物船の輸送距離が短い場合は時間の短縮も可能であるが、ほとんどのケースで速度差の影響により貨物船の所要時間が大幅に増加していることが分かる。

このことに関し、輸送距離が500km（トラックでドア・ツー・ドアが18時間程度）と1,000km（24時間程度）で宅配便を利用した場合の所要時間の許容増加量について、アンケートを行った。その集計結果はFig. 3 のようになった。Fig. 3 において中・長距離いずれの場合もトラックの所要時間の概ね3割増までなら60%以上の支持が得られることが分かり、これとTable 2の結果より、船速25ノット程度の貨物船を用いれば、海上輸送がトラック輸送より時間がかかるという問題にある程度対処できることがうかがえる。

以上をまとめると、フェリーは経費に関してはトラック輸送とあまり変わらずトラックの代替手段として適当ではなく、本研究で想定したケースのうちでは中型貨物船を船速25ノット程度で運行するのが最善である。しかし、想定したモデルでは満載状態で輸送することが前提となっていて、荷物の集積状況によっては小型貨物船を用いた方がよいと思われる。

Table 2 Time required

Route	Distance [km] (Truck/Ship)	Truck [hour]	Ferry [hour]	Cargo ship	
				Medium [hour]	Small [hour]
Tokyo ~ Kitakyushu	1,040 / 1,160	21	30 (42.9)	32 (55.0)	28 (34.9)
Yokohama ~ Fukuoka	1,200 / 1,000	24	26 (6.3)	28 (18.7)	25 (2.5)
Tokyo ~ Miyazaki	1,400 / 950	28	25 (-11.4)	27 (-2.5)	24 (-16.0)
Nagoya ~ Sendai	700 / 780	14	21 (48.7)	23 (66.5)	20 (41.8)
Tokyo ~ Kochi	840 / 730	17	20 (16.9)	22 (31.8)	19 (11.7)
Tokyo ~ Tokushima	650 / 640	13	18 (34.8)	20 (54.0)	17 (29.4)
Osaka ~ Shin-Moji	550 / 460	11	13 (20.9)	16 (43.6)	13 (17.6)
Kobe ~ Oita	710 / 420	14	12 (-13.0)	15 (4.6)	12 (-15.0)
Kobe ~ Matsuyama	320 / 230	6	8 (23.4)	10 (62.5)	8 (24.5)

(): Rate of increase

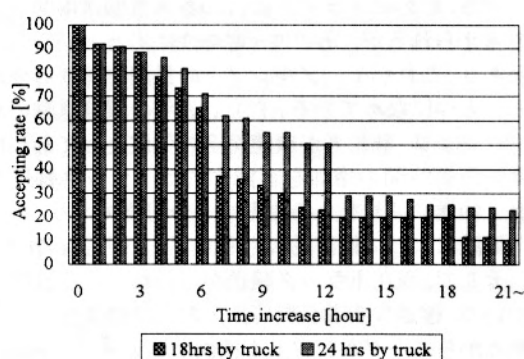


Fig. 3 Allowance for increase of time taken

3. LCA を利用した環境影響の評価

3.1 LCA について

トラックと貨物船の総合的な環境影響を考えるために、それぞれの生産段階からの環境負荷をLCA (Life Cycle Assessment) の考え方^{5),6)}を利用して数値化し、ひとつの指標として表すことを試みた。

LCA は、製品およびサービスの製造・使用・廃棄というライフサイクル全体にわたっての総合的な環境負荷を数値的に評価しようとする手法で、本来は単一の対象について用いられるが、これを拡張して陸上輸送と海上輸送という異なる形態のサービスに適用し、両者を比較することは可能であると思われる。

ただ、LCA の細部をめぐっては現在も議論が紛糾しており、また本研究と一般的なLCAとは趣旨が若干異なることもあり、そのまま適用することは